



HAL
open science

La résistance variétale au mildiou et à l'oïdium permet-elle de mettre en oeuvre des systèmes viticoles innovants multi-performants à très bas niveau d'intrants ?

Rose Amiot, Olivier Nefti, Olivier Keichinger, R. Metral, Marie Thiollet-Scholtus, Lionel Ley, Clarisse Arcens, Laurent Deliere

► **To cite this version:**

Rose Amiot, Olivier Nefti, Olivier Keichinger, R. Metral, Marie Thiollet-Scholtus, et al.. La résistance variétale au mildiou et à l'oïdium permet-elle de mettre en oeuvre des systèmes viticoles innovants multi-performants à très bas niveau d'intrants ?. *Innovations Agronomiques*, 2024, 98, pp.87-105. <10.17180/ciag-2024-vol98-art07>. <hal-04829347>

HAL Id: hal-04829347

<https://hal.inrae.fr/hal-04829347v1>

Submitted on 10 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License



La résistance variétale au mildiou et à l'oïdium permet-elle de mettre en œuvre des systèmes viticoles innovants multi-performants à très bas niveau d'intrants ?

Rose AMIOT¹, Olivier NEFTI², Olivier KEICHINGER³, Raphaël METRAL⁴, Marie THOLLET-SCHOLTUS⁵, Lionel LEY¹, Clarisse ARCENS⁶, Laurent DELIERE^{2*}

¹ INRAE, Unité d'Expérimentation Agronomique et Viticole (UEAV), F-68000 Colmar, France

² INRAE, Unité Mixte de Recherche Santé et Agroécologie du Vignoble (SAVE), , Bordeaux Sciences Agro, ISVV, F-33140, Villenave d'Ornon, France

³ Chercheur indépendant, F-67600 Sélestat, France

⁴ Univ Montpellier, INRAE, CIRAD, CIHEAM-IAMM, Institut Agro, UMR ABSys, F-34000 Montpellier, France

⁵ INRAE, Unité Mixte de Recherche Laboratoire Agronomie et Environnement (LAE), Université de Lorraine, F-68000 Colmar, France

⁶ INRAE, Unité Expérimentale Vigne Bordeaux, , ISVV, F-33883 Villenave d'Ornon, France

Correspondance : laurent.deliere@inrae.fr

Résumé

Le projet SALSA a pour but d'évaluer les performances de systèmes de culture innovants, basés sur l'usage de variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium, par le biais d'un réseau de trois dispositifs expérimentaux situés à Bordeaux, Colmar et Montpellier. Ces systèmes innovants, appelés ici "Dephy", mobilisent la résistance variétale en combinaison avec d'autres leviers de réduction des intrants : travail du sol réduit, couverts végétaux et biodiversité associée, biocontrôle, etc. Sur chacun des sites, le système "Dephy" est comparé à un système "Témoin", planté avec des cépages sensibles et conduit en protection intégrée. Les résultats montrent une très bonne maîtrise du mildiou et de l'oïdium, avec des Indices de Traitement Phytosanitaire (IFT) réduits de 80 % par rapport aux stratégies conventionnelles, permettant ainsi un allègement des charges phytosanitaires, du bilan énergétique et des risques pour les opérateurs. Quelques points de vigilance ont toutefois été soulevés concernant la maîtrise de bio-agresseurs « secondaires » notamment. Les objectifs de production ont quant à eux été majoritairement atteints, bien que la variabilité des rendements ait illustré l'importance de mieux documenter le comportement agronomique des variétés résistantes. Dans l'ensemble, ces résultats n'ont pas entraîné d'évolution significative des performances sociales (temps de travaux) et environnementales (abondance des auxiliaires). Ils soulignent toutefois la nécessité de produire davantage de connaissances, pour accompagner le déploiement de ces systèmes innovants à large échelle.

Mots-clés : viticulture, innovation variétale, combinaison de leviers, évaluations de performances agronomiques et de durabilité

Abstract: Can downy mildew- and powdery mildew-resistant cultivars pave the way for innovative, multi-performing and low-input winegrowing systems?

Through a network of three experimental projects in Bordeaux, Colmar and Montpellier, the SALSA research program aims at assessing the performances of innovative cropping systems, featuring downy and powdery mildew-resistant grapevine cultivars. Cropping systems were designed to integrate varietal resistance with other levers for phytosanitary inputs phase-out: reduced tillage, cover crops and agroecological infrastructures, biocontrol products, etc. On all three sites, an innovative system was tested against a "Control" system, grown with vulnerable grape varieties and integrated pest management methods. The results showed outstanding disease control for powdery and downy mildew, with a treatment frequency index reduced by 80% compared with conventional strategies, and thereby cutting



phytosanitary costs, energy requirements and operating risks. Attention was drawn, however, to the importance of controlling "secondary" disease organisms more specifically. Production targets were mostly achieved, although yield variability highlighted the need for further research into agronomic characteristics of resistant varieties. For the most part, these findings have not led to any significant changes in the system's performances, whether social (work time) or environmental ("beneficial arthropods" abundance). Nonetheless, the need for greater knowledge is still apparent, in order to support the broad-scale adoption of such innovative systems.

Keywords: vineyard, innovation, resistant variety, set of levers, assessment of viticultural performances, sustainability of vineyard

1 Introduction

Dans le vignoble français, l'intensité du recours aux produits phytosanitaires se traduit par un Indice de Fréquence de Traitement (IFT) total moyen de 12,4 (données 2019 ; Simonovici & Caray, 2023). Malgré une certaine variabilité entre les exploitations, les années et les bassins viticoles, l'usage des produits phytosanitaires présente des caractéristiques communes à l'échelle nationale : (i) Les fongicides représentent plus de 80 % de cet IFT et 96 % d'entre eux ciblent principalement le mildiou et l'oïdium. (ii) Les herbicides représentent moins de 5 % de l'IFT mais sont encore utilisés sur plus de 80 % des parcelles, notamment pour maîtriser les adventices sous les rangs. (iii) Les insecticides constituent 10 à 15 % de l'IFT, dont une grande partie est utilisée dans le cadre de traitements obligatoires contre la cicadelle vectrice de la flavescence dorée.

Les plans Ecophyto successifs visent une réduction à moyen terme de 50 % de l'usage des produits phytosanitaires à l'échelle nationale, qui concerne donc particulièrement la viticulture. Pour cela, des leviers sont mobilisés pour lutter contre les maladies et les ravageurs : ce sont principalement des leviers d'efficacité de la lutte chimique (Outils d'Aide à la Décision pour adapter les doses et le positionnement des traitements, pulvérisation confinée), complétés par des leviers d'atténuation (opérations en vert) et l'usage de produits de biocontrôle. Le suivi de 400 exploitations viticoles dans le cadre du réseau DEPHY Ferme a montré que la mise en œuvre de ces leviers permettait d'obtenir des réductions significatives de l'IFT moyen, de l'ordre de 24 %. Cette réduction peut atteindre près de 50 % pour certaines catégories d'exploitations du réseau DEPHY Ferme (CAN DEPHY Ecophyto, 2023). Concernant la gestion des sols, le travail mécanique et le recours aux couverts végétaux sont aujourd'hui largement mobilisés et s'accompagnent d'une dynamique de réduction des herbicides et d'augmentation du nombre d'exploitations du réseau DEPHY Ferme n'utilisant plus d'herbicides (CAN DEPHY Ecophyto, 2023).

Les résultats montrent également que des exploitations du réseau Ferme déjà peu consommatrices de produits phytosanitaires ont des difficultés à réduire encore leur usage, avec des écarts inter-annuels très importants. Si une réduction significative de l'usage des produits phytosanitaires est déjà engagée, son accélération, voire l'abandon complet de ces produits, nécessite une reconception des systèmes de culture mais également l'introduction d'innovations pour la gestion des bio-agresseurs. L'utilisation de la résistance variétale contre le mildiou et l'oïdium, c'est-à-dire l'introduction de nouvelles variétés, constitue une innovation radicale en ce sens.

En effet, la viticulture est actuellement une des seules cultures à ne pas utiliser largement la résistance variétale comme levier de gestion des bio-agresseurs (à l'exception notable du contrôle du phylloxera par des porte-greffes résistants). Si des variétés résistantes appelées communément « hybrides producteurs directs » représentaient au cours du XX^{ème} siècle une surface importante du vignoble (30 % en 1958), ceux-ci ont été progressivement éliminés du fait d'une qualité non adaptée à l'évolution de la filière. Néanmoins, les travaux de sélection se sont poursuivis en Europe et se sont accélérés à partir des années 2000, notamment en France avec le programme ResDur porté par INRAE (Merdinoglu et al., 2018). Ces programmes ont abouti à la création de variétés avec des niveaux de résistance élevés au mildiou et à



l'oïdium, et possédant des caractéristiques agronomiques et organoleptiques compatibles avec les objectifs de production actuels. Les premières ont été classées en France en 2017, et de nouvelles variétés sont régulièrement inscrites au catalogue officiel national. Actuellement 24 variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium en classement définitif peuvent être plantées par les viticulteurs¹. Les premiers résultats obtenus montrent que l'utilisation de ces variétés permettrait une réduction de l'usage des fongicides de près de 80% de l'IFT fongicides (Guimier et al. ; 2019 ; Delière et al., 2018 ; Thiollet-Scholtus et al., 2019). Leur intégration dans les systèmes de culture soulève de nombreuses questions sur la durabilité des résistances, la gestion du cortège de bio-agresseurs, l'interaction avec d'autres leviers de gestion et plus globalement sur les performances de ces systèmes.

Le projet SALSA (DEPHY Expe 2) vise à évaluer les performances de systèmes de production viticole, mobilisant une combinaison de leviers dont : (i) des variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium, (ii) des infrastructures agroécologiques pour favoriser les régulations naturelles contre les ravageurs, (iii) un recours important aux couverts végétaux en alternative la plus complète possible au travail du sol, et (iv) en excluant par ailleurs l'utilisation de tous produits classés CMR. L'objectif est ainsi de concevoir et évaluer de tels systèmes, avec un IFT réduit de plus de 80 % par rapport aux références régionales.

Par conséquent, les questions auxquelles cet article ambitionne de répondre sont :

- Quelle réduction d'intrants peut-on envisager en combinant ces leviers ?
- Cette réduction drastique de l'IFT permet-elle une maîtrise durable des bio-agresseurs ?
- La combinaison de ces leviers permet-elle d'augmenter certaines composantes de la biodiversité, et en particulier celles favorables à la régulation naturelle des ravageurs ?
- Quelle est la durabilité environnementale, sociale et économique de ces systèmes de production ?

2. Matériels et Méthodes

2.1. Dispositif expérimental

Les systèmes de culture sont mis en œuvre au sein d'un réseau de trois sites présentant des conditions agro-climatiques contrastées : façade atlantique (Bordeaux), septentrionale (Colmar) et méridionale (Montpellier). Chaque site permet de comparer un système de culture testé, mobilisant la résistance variétale (Système Dephy), à un système de référence du bassin viticole, correspondant à une stratégie de protection intégrée (Système Témoin). Chaque dispositif est randomisé avec trois répétitions spatiales pour chacun des deux systèmes. La taille des parcelles élémentaires varie de 1 000 à 2 000 m² selon les sites.

Le site de Bordeaux² est situé sur le domaine INRAE de la Grande Ferrade (Villenave-d'Ornon, Gironde) au sein de l'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC) Pessac-Léognan. Le dispositif a été planté en 2011 à une densité de 6 250 ceps/ha (1,6 m x 1 m), sur un sol de type sablo-graveleux.

Le site de Colmar³ fait partie du vignoble de l'unité expérimentale UEAV d'INRAE (Wintzenheim, Haut-Rhin), au sein de l'AOC Alsace. Le dispositif a été planté en 2014 à une densité de 4 850 ceps/ha (1,65 m x 1,25 m), sur un sol de type sablo-limoneux.

¹ Elles sont recensées sur le site de l'observatoire national du déploiement des cépages résistants (OSCAR) : <https://observatoire-cepages-resistants.fr/les-fiches-cepages-resistants/>

² Des pages présentant la conception des systèmes sont consultables sur le portail ECOPHYTOPIC, aux liens suivants : <https://ecophytopic.fr/dephy/conception-de-systeme-de-culture/site-resintbio-salsa#>

³ <https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/site-pepsvi-wintzenheim-salsa>



Le site de Montpellier⁴ est situé sur le domaine du Chapitre (Villeneuve-lès-Maguelone, Hérault) en Indication Géographique Protégée (IGP) Hérault - Collines de la Moure. Le dispositif a été planté en 2019, au début du projet, à une densité de 3 333 cep/ha (2,5 m x 1,2 m) pour la référence et 3 571 cep/ha (2,8 m x 1 m) pour le système Dephy. Le sol est de type limono-argileux très calcaire, profond (plus d'1,25 m).

2.2. Leviers mobilisés

Les systèmes testés présentent des leviers de gestion des bio-agresseurs communs aux trois sites (Figure 1):

- Utilisation d'une variété résistante au mildiou et à l'oïdium issue du programme ResDur, associant plusieurs QTL (Quantitative Trait Locus) de résistance (Rpv1-Rpv3 et Run1-Ren3, ou Rpv1-Rpv10 et Run1-Ren3-Ren9) ;
- Mise en place d'opérations culturales visant à atténuer les épidémies (épamprage, ébourgeonnage) ;
- Semis et entretien de couverts végétaux, dans un objectif de multifonctionnalité, telle que l'amélioration de la qualité et la fertilité des sols, ainsi que la préservation de biodiversité faunistique et floristique ;
- Implantations d'infrastructures agroécologiques en complément des couverts végétaux intra-parcellaires ;
- Mise en œuvre de luttés chimique et biologique pour compléter l'efficacité des résistances, favoriser leur durabilité et maîtriser les bio-agresseurs non contrôlés par ces dernières.

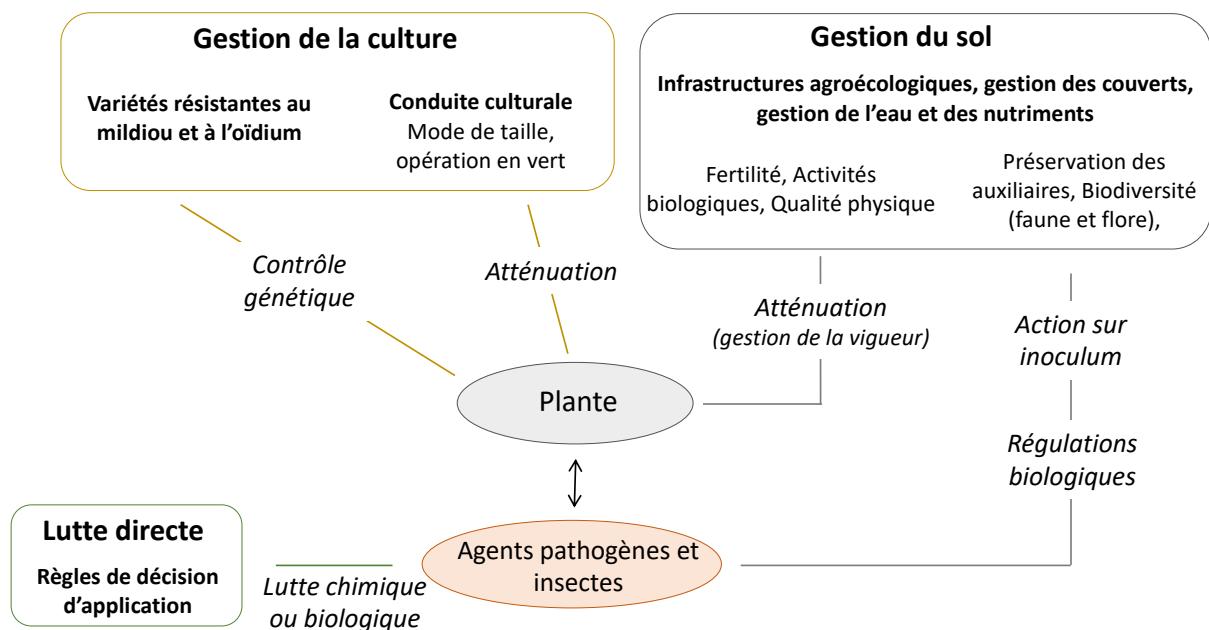


Figure 1 : Représentation schématique des catégories de leviers mobilisés en combinaison dans les systèmes du projet SALSA.

Une description plus détaillée des leviers mobilisés pour chaque site est présentée dans le Tableau 1.

⁴ <https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/site-live-salsa-domaine-du-chapitre>

**Tableau 1 :** Description des sites expérimentaux et des leviers mobilisés pour réduire l'usage des pesticides.

Site	Type de levier	Levier	Système Dephy	Système Témoin
Bordeaux (Villeneuve d'Ornon)	Gestion de la culture	Variété	Artaban	Merlot
		Mode de taille	Cordon double	Guyot simple
		Opérations en vert		
	Gestion du sol	Gestion du rang	Travail du sol (2-3 passages)	Travail du sol
		Gestion de l'inter-rang	Enherbement : semé et naturel 1 rang sur 2. Bandes fleuries sur les 3 inter-rangs centraux de chaque parcelle	Enherbement : semé et naturel 1 rang sur 2
	Infrastructures agroécologiques complémentaires		Haies multi-espèces en bordure de parcelle. Zone non fauchée au bout des parcelles	Haies multi-espèces en bordure de parcelle.
	Lutte directe	Type de produit utilisé	Conventionnel sans CMR. Aucun insecticide	Conventionnel sans CMR
Règle de décision		1 à 3 traitements selon symptômes mildiou et black-rot. Zone sans traitement sur les 3 rangs centraux.		
Colmar (Wintzenheim)	Gestion de la culture	Variété	Opalor	Pinot Blanc
		Mode de taille	Guyot double	Guyot double
		Opérations en vert	Epamprage, palissage, rognage, effeuillage	Epamprage, palissage, rognage, effeuillage
	Gestion du sol	Gestion du rang	Travail du sol (1-2 passages)	1 application herbicide complétée par un travail du sol (3 passages)
		Gestion de l'inter-rang	1 inter-rang semé (Pois-Seigle) et roulé, 1 inter-rang semé avec un mélange fleuri permanent peu fauché	1 inter-rang semé (mélange légumineuses sols acide à neutre) 1 inter-rang travaillé (1-2 passages) et 2 tontes
	Infrastructures agroécologiques complémentaires		Couverture du sol maximale Lisière de forêt à 40m et nombreux murs de pierres entourant la parcelle.	Lisière de forêt à 40m et nombreux murs de pierres entourant la parcelle.
	Lutte directe	Type de produit utilisé	Conventionnel sans CMR. Lutte insecticide par confusion sexuelle.	Conventionnel sans CMR. Lutte insecticide par confusion sexuelle
Règle de décision		1 traitement dirigé contre le mildiou et/ou le black-rot.		
Montpellier (Villeneuve- lès- Maguelone)	Gestion de la culture	Variété	Artaban	Syrah (+Artaban)
		Mode de taille	Double cordon de Royat	Double cordon de Royat
		Opération en vert	Epamprage, palissage, rognage, ébourgeonnage	Epamprage, palissage, rognage
	Gestion du sol	Gestion du rang	Paillage (feutre végétal)	Désherbage et travail du sol
		Gestion de l'inter-rang	Enherbement spontané et semé	
	Infrastructures agroécologiques complémentaires		Enherbement des tournières Haies multi strates Viti-foresterie	Enherbement des tournières
	Lutte directe	Type de produit utilisé	Biocontrôle ou AB	Conventionnel sans CMR
Règle de décision		Stratégie avec 1 traitement pour la durabilité de la résistance + prévention black-rot		



2.3. Collecte et analyse des données

La réalisation des mesures agronomiques est effectuée sur des placettes de suivi, présentes dans les trois répétitions des systèmes de chaque site. En proportion de la densité de plantation des systèmes testés, cet échantillonnage représente 2 % des ceps à Bordeaux, 3 % à Colmar et 8 % à Montpellier. L'ensemble des pratiques sont enregistrées annuellement. Ces données permettent le calcul des indicateurs de performance présentés ci-dessous. Pour la plupart d'entre eux, des comparaisons entre les modalités Dephy et Témoin sont présentées, au moyen de tests de Student ou Wilcoxon selon les effectifs et la distribution des données.

2.3.1. Usage des produits phytosanitaires

L'indice de fréquence de traitement (IFT) est l'indicateur utilisé pour quantifier l'intensité du recours aux produits phytosanitaires. Il est interprétable comme le nombre de traitements à pleine dose opérés par unité de surface cultivée" (Brunet et al., 2008). Il est calculé pour chaque produit en rapportant les doses réellement appliquées et la surface traitée, à la surface totale et aux doses maximales autorisées pour les usages concernés (dernière dose en vigueur).

2.3.2. Maîtrise des bio-agresseurs

La présence de bio-agresseurs est évaluée par estimation visuelle à la parcelle sur feuilles et grappes. Ces observations sont effectuées sur les placettes de suivi à différents stades phénologiques de la vigne. Pour chaque bio-agresseur, elles permettent de calculer une fréquence d'organes symptomatiques, ainsi qu'une intensité d'attaque (correspondant au pourcentage moyen de surface endommagée).

2.3.3. Rendements

La production agronomique des parcelles est évaluée par comptage et pesée des grappes produites dans les placettes. A partir de ces valeurs, le rendement théorique de la parcelle est calculé en prenant en compte la surface réellement plantée.

2.3.4. Temps de travaux & Coûts

La traçabilité des opérations culturales est enregistrée sur le système d'information AGROSYST, avec pour chaque intervention des éléments contextuels permettant de calculer des temps de travaux (débit de chantier, surface concernée, nombre de personnes mobilisées, etc.) et des coûts (intrants, dose, matériel utilisé, etc.). Ces informations sont associées à des références de prix standards (Hamiti et Van Kempen, 2017), et compilées en indicateurs exprimés par hectare et par campagne. Ce document présente notamment les éléments suivants :

- Charges de mécanisation : la somme des coûts fixes et variables associés aux interventions mécanisées (hors main d'œuvre), variant selon le temps de travail et les caractéristiques du parc matériel ;
- Charges phytosanitaires : la somme des coûts d'approvisionnement en produits phytosanitaires, considérant uniquement les produits et doses réellement appliquées, à partir de prix standards (non-divulgués) ;
- Temps de travaux : la somme des débits de chantiers des opérations culturales enregistrés, au prorata des surfaces concernées.

2.3.5. Evaluation multicritère de la durabilité environnementale et sociale

L'évaluation de la durabilité environnementale des modalités « Témoin » et « Dephy » est réalisée à l'aide de la méthode INDIGO®-vigne (Thiollet-Scholtus et Bockstaller, 2015), calculant des risques pour chacun des compartiments environnementaux en lien avec les pratiques de l'itinéraire technique viticole. Chaque indicateur est exprimé sur une échelle de 0 (risque maximal) à 10 (aucun risque), dans laquelle la note de 7/10 correspond aux recommandations de la viticulture intégrée. L'indicateur **I-phy** évalue les risques du programme de traitement phytosanitaire pour la qualité des eaux souterraines, des eaux de surface,



de l'air, ainsi que l'effet sur les auxiliaires de la vigne. L'indicateur **I-N** évalue les risques de fuites d'azote dans l'atmosphère et dans les eaux souterraines, en lien avec le programme de fertilisation et la minéralisation de l'azote. L'indicateur **I-MO** évalue l'évolution du stock de matière organique du sol, en fonction des entrées (amendements organiques, couverts végétaux, bois de taille, *etc.*), et des sorties (minéralisation liée aux caractéristiques du sol et à l'itinéraire technique (travail du sol, *etc.*)). L'indicateur **I-en** évalue la consommation totale de l'itinéraire technique en énergies non renouvelables liée au machinisme et à la production des intrants (fertilisation et phytosanitaires). L'indicateur **I-CS** évalue quant à lui les risques d'érosion hydrique et de déstructuration du sol en fonction de la couverture du sol, de la pente, de la répartition des pluies sur l'année et de la longueur de pente.

La durabilité sociale des systèmes est estimée via l'indicateur SOECO-social (Keichinger et Thiollet-Scholtus, 2017). Il permet d'évaluer le risque phytosanitaire pour l'opérateur, la pénibilité du travail pour chaque opération technique, et la sécurité de l'opérateur lors de ces dernières. La méthode ne fournit pas une valeur absolue pour un système mais permet la comparaison entre deux modalités (ici entre « Témoin » et « Dephy ») afin d'évaluer si l'innovation est socialement acceptable par rapport à ce qui se fait classiquement. Un code couleur a été choisi, allant du vert (amélioration ou très faible détérioration) au noir (forte détérioration par rapport au témoin) en passant par l'orange et le rouge. L'évaluation a été réalisée au début et à la fin du projet (2019 et 2023) afin de tenir compte de l'évolution possible et/ou de l'adaptation au système de culture innovant.

2.3.6. Auxiliaires

Des captures d'arthropodes sont réalisées à 3 reprises lors de chaque campagne : aux stades floraison/nouaison, fermeture/véraison, et maturité/récolte. Pour prélever un large spectre d'auxiliaires, elles sont effectuées via trois dispositifs de piégeage : des battages dans la canopée (Costello & Daane, 1997), des cuvettes surélevées (Westphal et al., 2008), et des pots Barber dans le sol (Duelli, 1997). Les invertébrés ainsi capturés sont identifiés par des laboratoires prestataires, puis des données d'abondance (nombre d'individus), et de richesse spécifique (nombre d'espèces) sont calculées pour des guildes ou des taxons d'intérêt.

3. Résultats :

3.1. Performances des systèmes expérimentés pour la réduction des pesticides

3.1.1. Indices de fréquence de traitement

En moyenne sur les 5 campagnes, les systèmes mobilisant la résistance variétale affichent un IFT total 6 fois inférieur à celui des témoins sensibles, et 9 fois inférieur à celui des références régionales bas intrants (Figure 2). Ces références régionales (Ref. FERME) correspondent aux valeurs médianes enregistrées dans le réseau Dephy FERME, pour des exploitations comparables aux systèmes testés (bassin viticole et mode de production identiques). Les écarts observés sont conformes aux objectifs de réduction d'intrants affichés en début de projet. Ils cachent toutefois des disparités entre les campagnes, mais aussi entre les régions, et le type de produits utilisés :

- La campagne 2021 fut par exemple caractérisée par une forte pression fongique dans le Bordelais (Martigne & Ballouhey, 2021) et en Alsace (Lauer & Wisselmann, 2021), ce qui a accru les écarts d'IFT entre les systèmes résistants et sensibles. Sur ces deux sites, les IFT annuels des parcelles Témoins sont par ailleurs assez variables : à Bordeaux ils ont évolué entre 7.2 (2019) et 14.5 (2021), et entre 8.3 (2020) et 14.9 (2021) pour Colmar. Les mêmes rebonds annuels sont constatés pour les valeurs de références régionales, alors que les systèmes Dephy ont connu des scores plus bas, et plus réguliers (données non présentées). Les IFT plus faibles constatés sur le site de Montpellier sont dus à la plantation récente des deux systèmes, impliquant une nécessité de protection moins forte. En 2019, l'année de plantation, la modalité Dephy n'a par exemple reçu



aucun traitement phytosanitaire. Enfin, comme le montre la figure 2, la stratégie de protection du site de Colmar mobilise une plus forte proportion de produits de biocontrôle. Ces produits sont notamment utilisés pour la confusion sexuelle des parcelles dans les deux modalités, ainsi qu'en substitution de molécules de synthèse dans la modalité sensible (stimulation de défenses naturelles, et fongicides inorganiques).

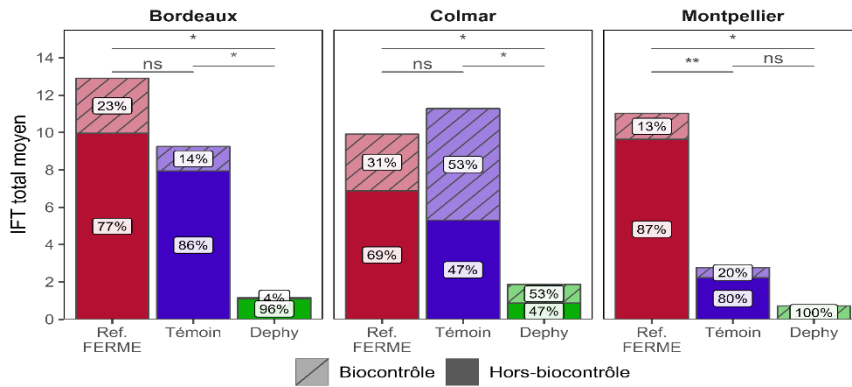


Figure 2 : Indice de fréquence de traitement moyen sur les 5 campagnes, pour les systèmes Dephy et Témoin, ainsi que pour la référence FERME correspondant aux trois sites. La part de biocontrôle dans l'IFT total est symbolisée par la partie claire et hachurée. Les tests statistiques (Wilcoxon) comparent les

distributions d'IFT annuels, leur échelle de significativité est la suivante : ns = non-significatif, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.005$, **** = $p < 0.001$.

3.1.2. Maîtrise des bioresseurs

La combinaison de leviers mise en place a permis d'atteindre l'objectif de réduction d'IFT, malgré des contextes météorologiques propices aux maladies fongiques. La campagne 2021 tout particulièrement a été marquée par de fortes pressions conjointes du mildiou et du black-rot dans le bordelais et en Alsace (CAN DEPHY Ecophyto, 2022). Le millésime 2023 a également été affecté par de très fortes pressions mildiou à Bordeaux (Martigne & Ballouhey, 2023), et oïdium à Colmar (CA Alsace & FREDON Grand-Est, 2023). Sur le site de Montpellier, il n'a pas été constaté de pressions sanitaires particulièrement préoccupantes sur les deux campagnes où la vigne avait atteint son stade de production (CRA Occitanie et al., 2022 ; CRA Occitanie et al., 2023).

L'observation de ces maladies, menée au vignoble sur les 3 sites a permis de mettre en évidence une très bonne maîtrise du mildiou dans les systèmes Dephy, quels que soient les pressions parasitaires et les niveaux de maîtrise dans les parcelles témoin (Figure 3). Toutefois, si les gènes de résistance permettent de préserver les grappes, des symptômes sur feuilles sont assez fréquemment observés en fin de saison (Figure 4), mais à des intensités toujours faibles (moins de 1 % en moyenne, données non présentées). L'intensité de ces symptômes, dues au caractère partiel de la résistance, est dépendant de la pression parasitaire de l'année. Concernant l'oïdium, aucun symptôme n'a été observé sur les feuilles ou les grappes.

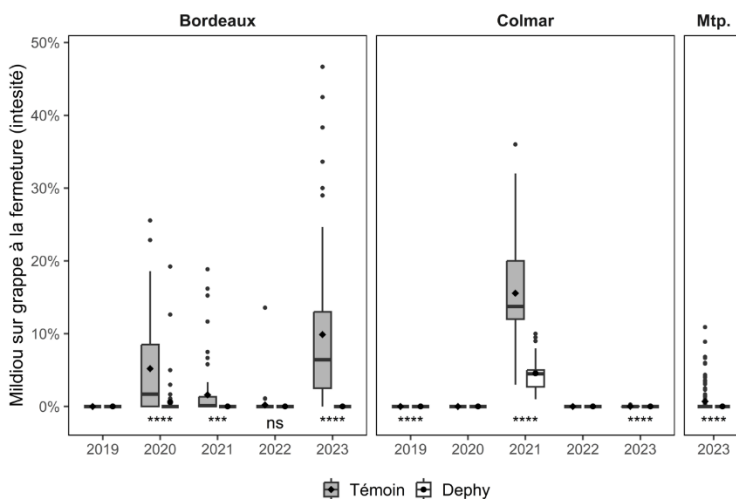


Figure 3 : Intensité d'attaque annuelle du mildiou sur grappe, à l'échelle du cep et au stade fermeture (ou début véraison), dans les systèmes sensibles et résistants de chacun des trois sites. Echelle de significativité des tests statistiques (Student) : ns = non-significatif, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.005$, **** = $p < 0.001$.



3.2. Performance agronomique des systèmes expérimentés

Sur l'ensemble des sites, la moyenne pluriannuelle des rendements dans les systèmes Témoins est supérieure à celle des systèmes résistants (données non présentées). Cette différence est significative à Colmar et Montpellier (Student, $p < 0.01$, et $p < 0.001$), mais pas à Bordeaux ($p = 0.15$). En moyenne, les rendements des systèmes Dephy correspondent aux objectifs (en pointillés sur la Figure 6) définis à Bordeaux (10 000 kg/ha) et Colmar (13 333 kg/ha), mais pas à Montpellier (14 850 kg/ha). Globalement, on note aussi un rapport biomasse / rendement plus élevé pour les variétés résistantes : 1,3 fois plus que le témoin pour Bordeaux et 1,5 fois pour Colmar (données non présentées).

A Bordeaux, une très forte charge est observée en 2019 sur le système Dephy (Figure 3) avec un rendement environ 2 fois supérieur à l'objectif attendu. Lors du millésime suivant (2020), la vigne a été impactée par cette surproduction avec un nombre de grappes beaucoup plus faible et un rendement significativement restreint. Par la suite, la très forte pression black-rot subie en 2021 a entraîné une perte considérable sur la modalité Dephy. On y décompta en moyenne 2,7 grappes par cep de moins que le témoin (non-illustré, Student $p < 0.001$), avec notamment 79 % des ceps échantillonnés ayant produit moins de 1 kg de raisin. En 2022, l'écart de production entre les systèmes se resserre, puis s'annule lors de la campagne 2023 où l'on ne constate plus de différence significative.

A Colmar, le pinot blanc est caractérisé par une production qui excède régulièrement les objectifs de rendement fixés à l'échelle du dispositif, alors que la variété Opalor apparaît moins productive mais offre toutefois un rendement avoisinant les objectifs attendus. Dans le cas de millésimes sans forte pression maladie, le système Témoin affiche une productivité significativement plus élevée que le système Dephy (2019, 2020, 2022, 2023). De fortes pertes furent en revanche observées sur le témoin lors de la campagne 2021, du fait de la pression mildiou élevée (Lauer & Wisselmann, 2021 ; CAN DEPHY Ecophyto, 2022) qui affecta significativement moins la production du système Dephy.

Sur le site de Montpellier, le système Témoin présente des moyennes de rendement excédant très largement celles du système Dephy. Les pratiques de gestion du sol dans la modalité Dephy (Tableau 1), notamment la concurrence hydrique et azotée des couverts, ainsi qu'un paillage trop "absorbant", limitant l'humectation du sol lors de précipitations faibles (< 10 mm), ont entraîné une forte contrainte azotée, qui entraîna un rendement 2 à 4 fois plus faible. Contrairement à la modalité résistante, le témoin a par ailleurs bénéficié d'une fertilisation organo-minérale qui a contribué à renforcer ces écarts de production. Dans ce contexte, et en considérant que le dispositif n'a connu que 2 campagnes de production, ces valeurs de production ne peuvent pas être comparées aux objectifs d'une vigne en IGP (14 850 kg/ha). Il ne s'agit pas d'un effet variétal car la variété Artaban conduite en système témoin, présente un rendement équivalent à la variété Syrah (données non présentées).

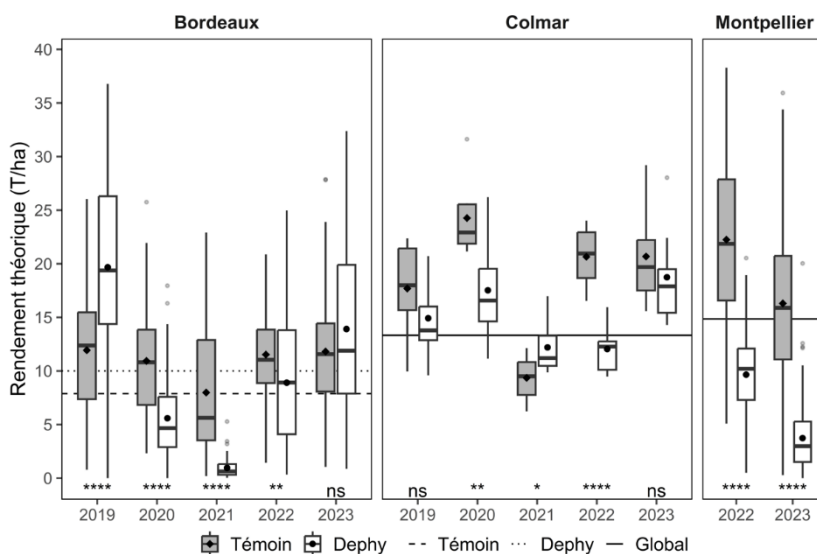


Figure 6 : Rendement en tonnes par hectare, estimé à partir des vendanges expérimentales effectuées sur les 3 sites. Les lignes en pointillés désignent l'objectif de rendement du ou des systèmes considérés (en couleur noir si l'objectif est commun aux 2 systèmes). Echelle de significativité des tests statistiques (Test de Student) : ns = non-significatif, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.005$, **** = $p < 0.001$.



3.3. Evaluation de la durabilité environnementale et sociale des systèmes témoin et dephy

3.3.1. Temps de travaux & charges

Au sein de chaque site, le temps de travail requis par les opérations manuelles ne diffère pas significativement entre les modalités Témoin et Dephy (Figure 7b). A Montpellier l'astreinte est en moyenne plus élevée dans le système Dephy, mais pas de manière significative. A Colmar et Montpellier, le temps de travail mécanisé est également comparable pour les deux systèmes (non-illustré). A Bordeaux en revanche, du fait d'un nombre de passages moins élevé pour les traitements phytosanitaires et pour le travail du sol, le système Dephy exige un temps de travail mécanisé inférieur à la modalité Témoin (-18 h en moyenne ; Wilcoxon, $p < 0.05$). Cette différence se répercute logiquement sur les charges de mécanisation (figure 7a), pour lesquelles une économie moyenne de 290 € par hectare est constatée. Aucun écart significatif entre les modalités testées n'est observé sur les autres sites.

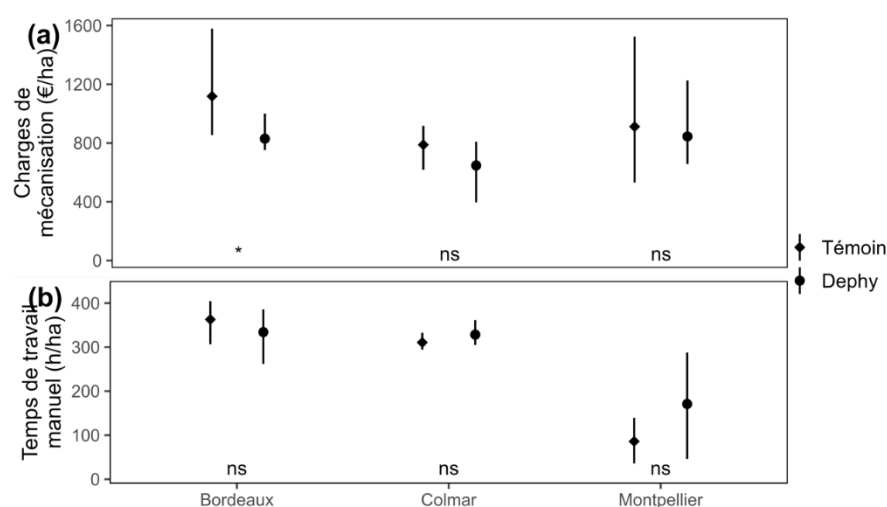


Figure 7 : Charges de mécanisation (a) et temps de travaux manuels (b) par hectare, dans les systèmes sensibles (Témoin) et résistants (Dephy), pour chacun de trois sites et des cinq campagnes étudiées. Le point central représente la moyenne des 5 campagnes, et les barres verticales désignent les valeurs minimales et maximales de la série. Echelle de significativité des tests statistiques (Wilcoxon) : ns = non-significatif, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.005$, **** = $p < 0.001$.

Puisqu'ils sont plus économes en intrants, les systèmes Dephy de Bordeaux et Colmar engagent des charges phytosanitaires moindres (non-illustrées). Par rapport à leurs témoins respectifs, ils ont ainsi permis une économie moyenne de 155 € par campagne et par hectare à Bordeaux (Wilcoxon, $p < 0.01$), et de 296 € à Colmar ($p < 0.01$). A Montpellier, une réduction moyenne de ces coûts est également constatée, elle n'est toutefois pas significative en raison des IFT globalement plus faibles.



3.3.2. Analyse multicritère

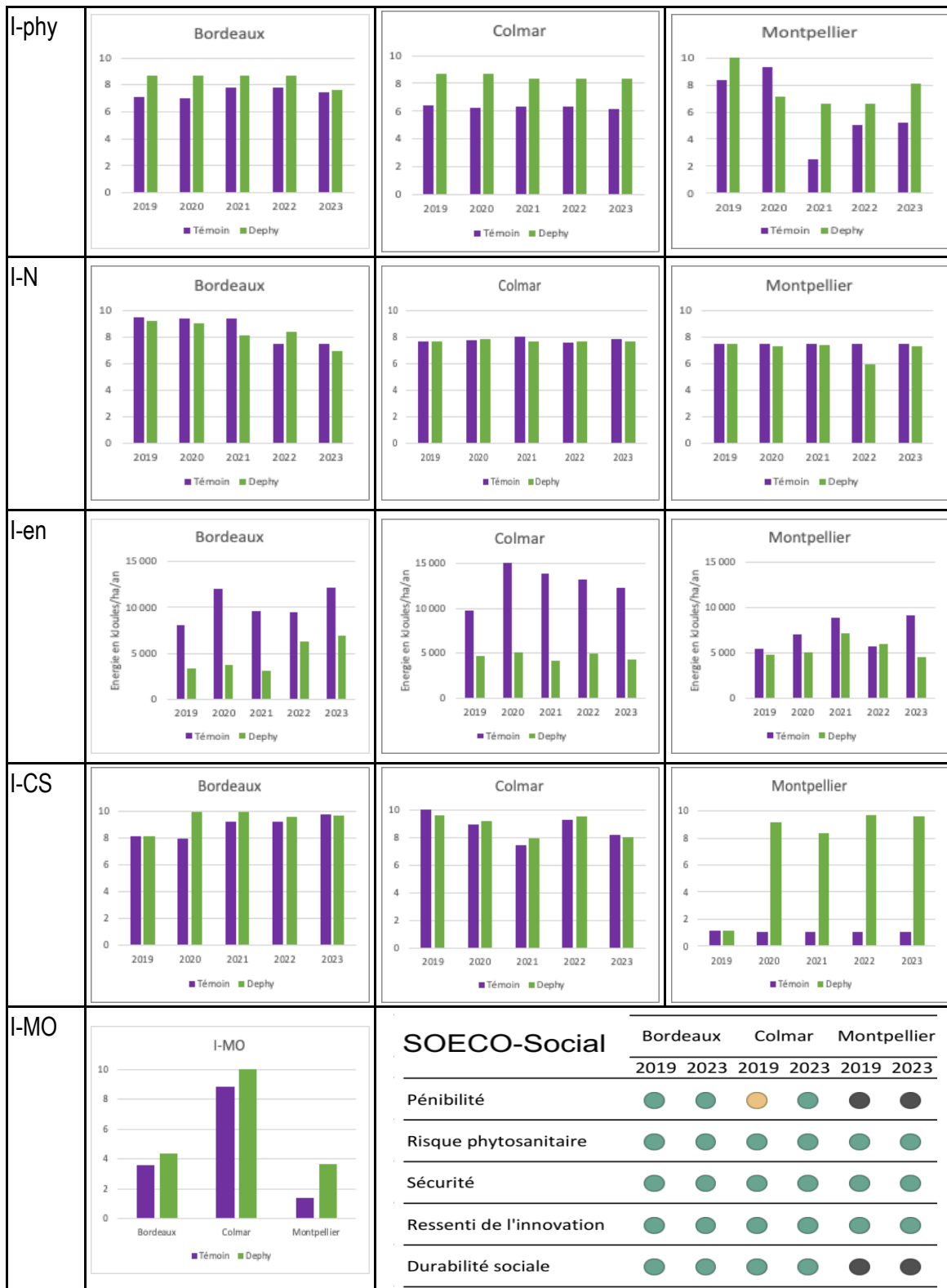


Figure 8 : Indicateurs d'évaluation environnementale et social par année et par site. I-phy (phytosanitaire), I-N (azote), I-MO (matière organique), I-en (énergie), I-CS (couverture du sol), SOECO (durabilité sociale). Pour la durabilité sociale : vert : Peu de différence entre "Dephy" et "témoin" (<5 %) ou avantage à "dephy"; jaune : Différence moyenne au détriment de "Dephy" (entre 5 et 15 %) ; rouge: Différence élevée au détriment de "dephy" (entre 15 et 25 %) ; noir: Différence très élevée au détriment de "Dephy" (>25 %).



Pour les 3 sites, les valeurs de l'indicateur I-Phy sont généralement meilleures pour les systèmes Dephy, hormis à Montpellier en 2020 où seuls des herbicides ont été utilisés, un produit de biocontrôle mais avec un effet sur les auxiliaires pour le système Dephy, et un produit de synthèse à faible risque pour le Témoin. Ces résultats vont dans le même sens que l'indicateur IFT avec toutefois un écart plus faible (inférieur à 2 points d'indicateur) entre Dephy et Témoin. Par contre, et à l'inverse de l'IFT, on note très peu de variabilité interannuelle malgré des conditions météorologiques très différentes (très humides en 2021 et secs en 2022 et pour certains sites en 2023). Malgré la multiplication des traitements, ces résultats s'expliquent par le risque sur l'environnement modéré des substances actives utilisées. Seul le site de Montpellier en 2021 a montré un écart de 4 points du fait d'un traitement insecticide contre la flavescence dorée effectué sur le témoin uniquement.

Pour tous les sites et les modalités, les valeurs de l'indicateur I-N montrent qu'il y a peu de transfert d'azote vers les milieux, car les risques de pertes sont limités par la faible fertilisation des systèmes. A l'échelle du site, cela s'explique également par des itinéraires techniques proches au regard de la gestion de l'azote, dans des conditions pédologiques et météorologiques identiques.

Les systèmes Dephy économisent une quantité importante d'énergie, essentiellement par le non-recours aux produits phytopharmaceutiques (consommation directe lors des passages pour les traitements et indirecte lors de leur production).

I-CS dépend fortement de la gestion de l'enherbement des inter-rangs. Les différences entre systèmes sont donc minimes, et dépendent bien souvent de la date d'intervention de gestion du couvert végétal sur les inter-rangs. Seul Montpellier montre une forte différence entre les modalités du fait du maintien d'un sol nu permanent pour le « témoin ».

Comme I-CS, I-MO est sensible à l'enherbement car le couvert permet de conserver un taux de matière organique stable dans le sol. Pour Bordeaux et Colmar, la petite différence provient d'une production plus importante de bois de taille sur les systèmes Dephy (non-illustrée), associée à plus de couvert et d'apport de MO exogène. Pour Montpellier les pertes sont moins bien compensées avec toutefois un enherbement pour Dephy qui limite la disparition de la matière organique du sol.

Pour la partie sociale, on note que la modalité Dephy augmente quelquefois le temps de travail et donc la pénibilité. A Montpellier, cette augmentation est principalement due à la gestion des adventices sous le rang. Pour supprimer l'usage des herbicides et éviter de le remplacer par un travail du sol, la mise en place d'un paillage a nécessité un binage manuel. Pour le risque vis-à-vis de l'opérateur de l'usage de produits phytopharmaceutiques, il est nettement diminué pour la modalité Dephy (jusqu'à 6 points d'indicateur) par la baisse importante des traitements fongicides. Pour la sécurité au travail, on ne note aucune différence du fait de pratiques de sécurité identiques pour les deux modalités (même domaine et même personnel). Enfin pour le ressenti des chefs de domaine concernant Dephy, elle est au moins aussi bonne que pour les parcelles Témoin. L'évaluation sociale globale de Dephy montre que le nouveau système de production est acceptable (ou devenu acceptable pour Colmar) sauf à Montpellier pour les raisons citées plus haut.

3.3.3. Auxiliaires et biodiversité

Au stade "fermeture de la grappe", lorsque la régulation naturelle est supposément la plus profitable à la gestion des ravageurs, les araignées (*Araneae*) constituent la majorité des arthropodes prédateurs piégés, dans la canopée (battage) comme dans le compartiment sol (pots Barber). Toutes campagnes et modalités confondues, elles composent en moyenne 85 % du total des prédateurs capturés à Bordeaux, 63 % à Colmar et 91 % à Montpellier (données non présentées).

Quel que soit le site, il y a peu de différences significatives du nombre d'individus piégés dans la canopée à ce stade (figure 9). Lorsqu'elles existent, elles sont plutôt ponctuelles, comme en 2022 à Bordeaux où les effectifs capturés dans les placettes Dephy furent 37 % inférieurs à ceux du Témoin. En 2021 à Colmar, un fort écart d'abondance fut observé en faveur du système Dephy cette fois-ci, puisqu'on y



dénombrera en moyenne 12 araignées de plus que dans les placettes témoins. A Montpellier, la campagne 2022 a été le premier millésime où la densité du feuillage permit la réalisation de battage dans la canopée. Lors de cette même année, 3,2 araignées en moyenne furent ainsi piégées dans les placettes “Dephy”, contre 0,3 dans celles du “Témoin”. On retrouve des résultats similaires, et peu concluants pour les autres piégeages et espèces, qu’elles soient prédatrices (opilions, forficules, carabes) ou pollinisatrices (abeilles sauvages et domestiques, syrphes). Dans l’ensemble, on observe peu de différences soutenues entre les années ou les sites concernant l’abondance des auxiliaires.

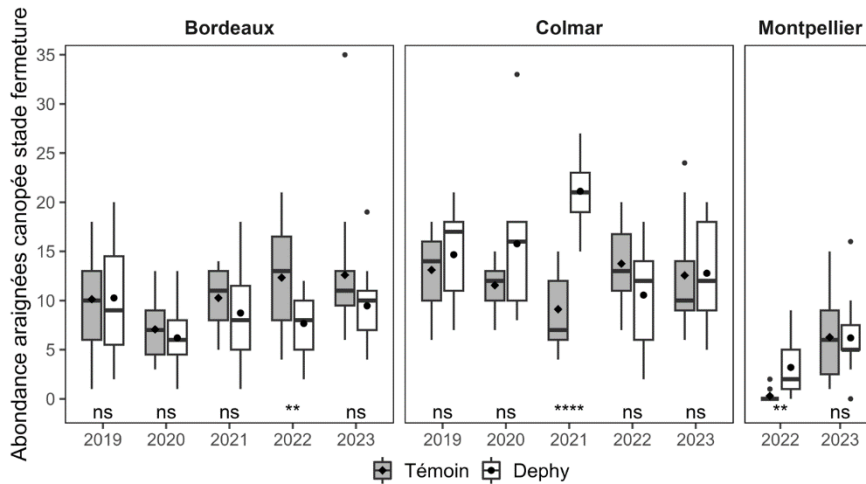


Figure 9 : Abondance annuelle des araignées prélevées par battage dans la canopée (nombre d’individus), à l’échelle de la placette et au stade fermeture / véraison pour les 3 sites et 5 campagnes étudiées. Echelle de significativité des tests statistiques (Test de Student) : ns = non-significatif, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.005$, **** = $p < 0.001$.

4. Discussion

Les résultats montrent que l’intégration de la résistance variétale dans les systèmes de production viticoles constitue un levier très efficace pour réduire la dépendance aux produits phytosanitaires. Les IFT observés avec ces systèmes constitueraient une réduction de plus de 84 % par rapport à ceux obtenus en protection intégrée, même pour des exploitations en agriculture biologique ou à bas niveau d’intrants (CAN DEPHY Ecophyto, 2023). Ces performances résultent également de la combinaison avec d’autres pratiques de réduction des intrants : travail du sol et couverts végétaux, opérations en vert, infrastructures agroécologiques, etc. formant ainsi une véritable rupture avec les stratégies de protection conventionnelles.

Sur l’ensemble des sites et des campagnes étudiées, ces stratégies innovantes ont permis une très bonne maîtrise du mildiou, y compris en conditions de forte pression. Les variétés testées n’étant que partiellement résistantes à ce pathogène, quelques symptômes ont cependant été observés sur grappes à de rares occasions. En fin de saison, les fréquences d’attaque élevées sur feuilles n’ont pas eu d’impact majeur sur la quantité ou la qualité de la production. Fréquemment observée après les vendanges, l’apparition de ces symptômes a fluctué au gré des millésimes, sans réellement gagner en intensité saison après saison. Elle constitue toutefois un point de vigilance pour la durabilité de tels systèmes viticoles. En effet, le mildiou peut effectuer la totalité de son cycle sur ces variétés (Delbac et al., 2019) et des isolats contournant la résistance pourraient être conservés au vignoble après reproduction sexuée. Par ailleurs, si aucun isolat de mildiou contournant RpV1 n’a été identifié, plusieurs isolats contournant d’autres gènes de résistance (Rpv3, Rpv12) ont été décrits et sont présents dans le vignoble (Peressotti et al., 2010 ; Delmotte et al., 2014 ; Paineau et al., 2022). Par conséquent, la mise en œuvre de traitements ou de mesures prophylactiques sont à envisager, afin de réduire l’inoculum, et prévenir l’évolution des populations de ce bio-agresseur.

En outre, la protection sanitaire des systèmes testés a été complexifiée par des agents pathogènes habituellement considérés comme “secondaires”. Le black-rot en particulier a été difficilement maîtrisé sur le site de Bordeaux, causant parfois des dégâts très importants (pertes de récolte totale en 2021).



Les variétés des systèmes Dephy étant sensibles à cette maladie (sans facteurs de résistance), des conditions de forte pression la rendent difficile à contrôler avec les règles de décision utilisées (1 à 3 traitements). Bien que sans incidence sur la production, l'émergence d'autres maladies telles que l'antracnose et l'érinose a pu également être favorisée par une certaine sensibilité du matériel végétal, ainsi que le faible recours à la lutte chimique. Dans une optique de massification de ces systèmes, les stratégies de protection doivent donc être adaptées : en mobilisant par exemple plus de produits de biocontrôle, ou des leviers d'efficience pour mieux positionner les traitements.

En termes de productivité, des difficultés à atteindre les objectifs de rendement ont été parfois rencontrées. Les pertes ont été assez ponctuelles mais issues de causes diverses : stratégie de gestion du sol sur jeune plantation à Montpellier, épidémie de black-rot et alternance biennale à Bordeaux. A Colmar, les rendements du système Dephy ont toutefois été plus constants que ceux de la modalité témoin, à la faveur d'une meilleure tolérance aux épidémies (mildiou et botrytis). Ces observations illustrent la nécessité d'acquérir un plus grand nombre de données sur le comportement agronomique des cépages résistants, afin d'optimiser les itinéraires techniques et les conditions de production. Constituer de telles références est par exemple l'un des objectifs de l'observatoire OSCAR (Guimier et al. 2019), qui ambitionne d'encourager un déploiement durable de ces variétés, sur un plan agronomique comme épidémiologique.

Malgré une protection phytosanitaire fortement différenciée, aucun effet majeur du système (Témoin ou Dephy) n'a été observé sur la diversité et l'abondance d'arthropodes. La littérature suggère pourtant qu'une réduction d'usage des fongicides telle que celle décrite ici, est bénéfique à certains taxons d'auxiliaires non-ciblés (Reiff et al., 2023, 2024 ; Pennington et al., 2019). La proximité géographique des parcelles élémentaires et leur taille réduite, la gestion du sol peu différente entre les modalités, et l'absence d'insecticides dans les systèmes témoins constituent des pistes pour expliquer ces résultats. Les données collectées au cours du projet devraient toutefois permettre d'investiguer plus en détail l'impact de divers facteurs sur les communautés d'arthropodes étudiées : comme par exemple la date de piégeage, la densité foliaire de la canopée, la composition floristique du couvert végétal, etc.

Dans l'ensemble, l'introduction de la résistance variétale dans les systèmes Dephy n'a pas engendré un plus grand besoin de main-d'œuvre que dans les systèmes témoins en protection intégrée. Les temps de travaux, mécanisés comme manuels, étant majoritairement consacrés à des opérations d'entretien du vignoble, communes aux deux modalités (travail du sol et taille par exemple). De la même façon, les indicateurs de risques liés au compartiment sol (érosion, pertes d'azote ou de matière organique) diffèrent peu entre les systèmes puisqu'ils sont calculés à partir de pratiques assez homogènes (à l'exception du site de Montpellier). En revanche, des économies d'énergie, des baisses de charge d'approvisionnements et un risque atténué pour l'utilisateur et l'environnement ont pu être quantifiés dans les systèmes Dephy, en lien avec la réduction du recours aux pesticides.

Les combinaisons de leviers éprouvées ont donc engendré une amélioration des performances environnementales des systèmes viticoles, sans dépréciation apparente de leurs performances sociales. Certains questionnements techniques doivent encore être élucidés pour favoriser leur déploiement : notamment vis-à-vis du comportement agronomique des nouvelles variétés, ainsi que des stratégies pour les protéger et préserver la durabilité des résistances. Sur le plan économique, si les systèmes testés diminuent le coût de la protection du vignoble, des pistes pour valoriser la production doivent encore être développées. L'intégration de cépages résistants aux maladies cryptogamiques dans les cahiers des charges d'appellations est une première étape envisageable. Elle suppose toutefois une forte préoccupation pour les caractéristiques organoleptiques des vins ainsi produits, avec pour enjeu principal de respecter les critères de typicité régionaux. Des stratégies de communication basées sur les faibles impacts environnementaux et sanitaires de ces vins peuvent être aussi examinées, puisque plusieurs études ont démontré la sensibilité des consommateurs à ces problématiques (Espinoza et al., 2018 ; Vecchio et al., 2022)



Pour en savoir plus : <https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/projet-salsa>

Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Contributions des auteurs

Rose Amiot : analyse des données, rédaction version originale, révision et édition. Olivier Nefti : analyse des données, rédaction version originale, révision et édition. Olivier Keichinger : collecte et analyse des données, rédaction version originale, révision et édition, Raphaël Métral : conceptualisation, méthodologie, collecte et analyse des données, rédaction version originale, révision et édition. Marie Thiollet-Scholtus : conceptualisation, méthodologie, analyse des données, rédaction version originale, révision et édition. Lionel Ley : conceptualisation, méthodologie, collecte et analyse des données, rédaction version originale, révision et édition. Clarisse Arcens : collecte des données, Laurent Delière : conceptualisation, méthodologie, collecte et analyse des données, rédaction version originale, révision et édition

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir pas de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Déclaration de soutien financier

Ce projet a été financé dans le cadre de l'action DEPHY, pilotée par le ministère chargé de l'agriculture et le ministère chargé de l'environnement, avec l'appui financier de l'Agence Française pour la Biodiversité, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses, attribués au financement du plan Ecophyto.

Remerciements

Ce document a été produit dans le cadre d'une action du plan Ecophyto, piloté par les ministères en charge de l'agriculture, de l'écologie, de la santé et de la recherche, avec l'appui technique et financier de l'Office français de la Biodiversité.

Les auteurs remercient les Unités Expérimentales suivantes pour leur soutien technique :

- UE Vigne Bordeaux. INRAE. <https://doi.org/10.17180/75AW-3519>, Eric Castant, Romain Courrèges et Axelle de Gentile pour la conduite du dispositif RESINTBIO.
- UEAV, INRAE, F-68000 Colmar, France. DOI: 10.15454/1.5483269027345498E12, pour le suivi du dispositif PEPSVI et la collecte des données sur le site de Colmar.
- Domaine du Chapitre (Institut Agro Montpellier), ainsi que Yvan Bouisson, Clément Enard et Bénédicte Ohl (INRAE) de l'équipe technique de l'UMR ABSys pour leur implication dans ce projet.

Les auteurs sont également reconnaissant envers l'équipe en charge du système d'information Agrosyst pour le support apporté aux saisies et consolidations. Au même titre, la cellule de référence DEPHY doit aussi être remerciée pour la mise à disposition des références et données de performances issues du système d'information.



Références bibliographiques :

Brunet N., Guichard L., Omon B., Pingault N., Pley-Ber E., & Seiler, A., 2008. L'indicateur de fréquence de traitements (IFT) : Un indicateur pour une utilisation durable des pesticides. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 56(56), 131.

CA Alsace & FREDON Grand-Est, 2023. Bilan annuel du bulletin de Santé du Végétal viticulture 2023—Alsace (p. 8). Chambre d'agriculture d'Alsace et FREDON Grand-Est. https://grandest.chambre-agriculture.fr/agro-environnement/ecophyto/bulletins-de-sante-du-vegetal/bsv-viticulture-alsace/?tx_egestiondocs_gestiondocs%5Bfolder%5D=1%3A%2Fuser_upload%2FGrand-Est%2F501_Fichiers-communs%2FListes-affichage-FE%2FBVS%2FBVS_Viticulture_Alsace%2F2023%2F&tx_egestiondocs_gestiondocs%5Bcontroller%5D=Document&cHash=5273fccff1ec9a6a8205de6a97f87ead

CAN DEPHY Ecophyto, 2022. Synthèse des bilans de campagne de la filière viticulture en 2021 (p. 5). <https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/dephy-viticulture-bilans-de-campagnes-de-2017-2022>

CAN DEPHY Ecophyto, Nefti, O., Delière, L., & Chartier, N, 2023. Synthèse nationale des données DEPHY FERME sur la période 2017-2020 [Rapport, Cellule d'Animation Nationale DEPHY Ecophyto]. <https://hal.inrae.fr/hal-04179747>

Costello M. J., Daane K. M., 1997. Comparison of Sampling Methods Used to Estimate Spider (Araneae) Species Abundance and Composition in Grape Vineyards. *Environmental Entomology*, 26(2), 142-149. <https://doi.org/10.1093/ee/26.2.142>

CRA Occitanie, ADVAH, FREDON, CA Hérault, CA Aude, CA Gard, CA Pyrénées Orientales, 2022. Bilan annuel du bulletin de Santé du Végétal viticulture 2022—Languedoc-Roussillon (p. 28). <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/bulletin-de-sante-du-vegetal-viticulture-territoire-languedoc-roussillon-bilan-de-la-campagne-20-5/>

CRA Occitanie, ADVAH, FREDON, CA Hérault, CA Aude, CA Gard, CA Pyrénées Orientales, 2023. Bilan annuel du bulletin de Santé du Végétal viticulture 2023—Languedoc-Roussillon (p. 32). <https://occitanie.chambre-agriculture.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/bulletin-de-sante-du-vegetal-viticulture-territoire-languedoc-roussillon-bilan-de-la-campagne-20-6/>

Delbac L., Delière L., Schneider C., Delmotte, F., 2019. Evidence for sexual reproduction and fertile oospore production by *Plasmopara viticola* on the leaves of partially resistant grapevine cultivars. *Acta Horticulturae*, 1248, 607-620. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1248.82>

Delière, L., Guimier S., Petitgenet M., Goutouly J.-P., Vergnes M., Dupin S., Davidou L., Christen M., Rochas A., Guilbault P., 2018. Performances de systèmes viticoles à faible niveau d'intrants phytopharmaceutiques dans le vignoble bordelais (Projet EcoViti Aquitaine). *Innovations Agronomiques*, 70, 37-54. <https://doi.org/10.15454/3wlrpx>

Delmotte, F., Mestre, P., Schneider, C., Kassemeyer, H.-H., Kozma, P., Richart-Cervera, S., Rouxel, M., Delière, L., 2014. Rapid and multiregional adaptation to host partial resistance in a plant pathogenic oomycete: Evidence from European populations of *Plasmopara viticola*, the causal agent of grapevine downy mildew. *Infection, Genetics and Evolution*, 27, 500-508. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2013.10.017>

Duelli, P., 1997. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: An approach at two different scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 62(2), 81-91. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01143-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01143-7)

Espinoza A. F., Hubert A., Raineau Y., Franc C., Giraud-Héraud É., 2018. Resistant grape varieties and market acceptance: An evaluation based on experimental economics. *OENO One*, 52(3), Article 3. <https://doi.org/10.20870/oenone.2018.52.3.2316>

Guimier S., Delmotte F., Miclot A. S., Fabre F., Mazet I., Couture C., Schneider C., Delière L., 2019. OSCAR, a national observatory to support the durable deployment of disease-resistant grapevine cultivars. *Acta Horticulturae*, 1248, 21-34. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1248.4>

Hamiti N., Van Kempen P., 2017. Coûts des Opérations Culturelles 2017 des Matériels Agricoles. APCA - Chambres d'agriculture France.



- https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjFpcTa3LOBAXU9daQEhfMjCm8QFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fchambres-agriculture.fr%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2FNational%2FFAL_commun%2Fpublications%2FNational%2Fediton_COC_2017_cout_materiel_MO_VF.pdf&usq=AOvVaw3VtixO7aG13Udm-cCQFde&opi=89978449
- Keichinger O., Thiollet-Scholtus M., 2017. SOECO : Indicateurs socio-économiques pour la viticulture et les systèmes de culture innovants. *BIO Web of Conferences*, 9, 04012. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20170904012>
- Lauer M.-N., Wisselmann G., 2021. Bilan annuel du bulletin de Santé du Végétal viticulture 2021—Alsace (p. 9). Chambre d'agriculture d'Alsace et FREDON Grand-Est. https://grandest.chambre-agriculture.fr/agro-environnement/ecophyto/bulletins-de-sante-du-vegetal/bsv-viticulture-alsace/?tx_egestiondocs_gestiondocs%5Bfolder%5D=1%3A%2Fuser_upload%2FGrand-Est%2F501_Fichiers-communs%2FListes-affichage-FE%2FBSV%2FBSV_Viticulture_Alsace%2F&tx_egestiondocs_gestiondocs%5Bcontroller%5D=Document&cHash=bf4804211ccf49ffe1c93c87c12a63d0
- Martigne M.-H., Ballouhey F., 2021. Bilan annuel du bulletin de Santé du Végétal viticulture 2021—Nord-Aquitaine (22; p. 19). Chambres d'agriculture de la Gironde et de la Dordogne. <https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/agro-environnement/ecophyto/bsv-bulletin-de-sante-du-vegetal/anciens-bsv/bsv-vigne-2021/#c1108325>
- Martigne M.-H., Ballouhey F., 2023. Bilan annuel du bulletin de Santé du Végétal viticulture 2023—Nord-Aquitaine (20; p. 20). Chambres d'agriculture de la Gironde et de la Dordogne. <https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/agro-environnement/ecophyto/bsv-bulletin-de-sante-du-vegetal/anciens-bsv/bsv-vigne-2023/nord-aquitaine/>
- Merdinoglu D., Schneider C., Prado E., Wiedemann-Merdinoglu, S., Mestre, P., 2018. Breeding for durable resistance to downy and powdery mildew in grapevine. *OENO One*, 52(3), Article 3. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.3.2116>
- Paineau M., Mazet I. D., Wiedemann-Merdinoglu S., Fabre, F., Delmotte, F., 2022. The Characterization of Pathotypes in Grapevine Downy Mildew Provides Insights into the Breakdown of Rpv3, Rpv10, and Rpv12 Factors in Grapevines. *Phytopathology*, 112(11), 2329-2340. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-21-0458-R>
- Pennington T., Kolb S., Kaiser J., Hoffmann C., Entling M. H., 2019. Does minimal pruning and reduced fungicide use impact spiders in the grapevine canopy? *The Journal of Arachnology*, 47(3), 381-384. <https://doi.org/10.1636/0161-8202-47.3.381>
- Peressotti E., Wiedemann-Merdinoglu S., Delmotte F., Bellin D., Di Gaspero G., Testolin, R., Merdinoglu D., Mestre, P., 2010. Breakdown of resistance to grapevine downy mildew upon limited deployment of a resistant variety. *BMC Plant Biology*, 10(1), 147. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-147>
- Reiff J. M., Hoffmann C., Entling M. H., 2024. Effect of fungicide sprays on spiders in vineyards. *EJE*, 121(1), 19-28. <https://doi.org/10.14411/eje.2024.003>
- Reiff J. M., Sudarsan K., Hoffmann C., Entling M. H., 2023. Arthropods on grapes benefit more from fungicide reduction than from organic farming. *Pest Management Science*, 79(9), 3271-3279. <https://doi.org/10.1002/ps.7505>
- Simonovici M., Caray J., 2023. Enquête Pratiques culturelles en viticulture en 2019—IFT et nombre de traitements | Agreste, la statistique agricole. Agreste. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Chd2304/detail/>
- Thiollet-Scholtus M., Bockstaller C., 2015. Using indicators to assess the environmental impacts of wine growing activity: The INDIGO® method. *European Journal of Agronomy*, 62, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.001>
- Thiollet-Scholtus M., Muller A., Abidon C., Audema P., Bailly C., Chaumonnot S., Grignon J., Keichinger O., Klein C., Koller R., Langenfeld A., Ley L., Lemarquis G., Nassr N., Nibaudeau R., Rabolin-Meinrad C., Ribeiro S., Schneider C., Weissbart J., 2019. Performances multicritères de systèmes viticoles à réduction drastique d'intrants dans le vignoble alsacien (PEPSVI). *Innovations Agronomiques*, 76(1), 219. <https://doi.org/10.15454/MGHRXL>



Vecchio R., Pomarici E., Giampietri E., Borrello M., 2022. Consumer acceptance of fungus-resistant grape wines : Evidence from Italy, the UK, and the USA. PLOS ONE, 17(4), e0267198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267198>

Westphal C., Bommarco R., Carré G., Lamborn E., Morison N., Petanidou T., Potts S. G., Roberts S. P. M., Szentgyörgyi H., Tscheulin T., Vaissière B. E., Woyciechowski M., Biesmeijer J. C., Kunin W. E., Settele, J., & Steffan-Dewenter I., 2008. Measuring Bee Diversity in Different European Habitats and Biogeographical Regions. *Ecological Monographs*, 78(4), 653-671. <https://doi.org/10.1890/07-1292.1>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations Agronomiques* et son DOI, la date de publication.